

## Aplicaciones basadas en redes de Petri para la cadena de suministro

### Petri-nets based application for Supply Chain

*Francisca Santana-Robles<sup>a</sup>, Arid Nicole Oropeza Villegas<sup>b</sup>, Rafael Granillo Macías<sup>c</sup>, Isidro  
Jesús González Hernández<sup>d</sup>, Isaías Simón Marmolejo<sup>e</sup>*

---

#### Abstract:

The supply chain is a complex network composed of suppliers, manufacturers, distributors and consumers. Due to its dynamic nature it is difficult to model. On the other hand, Petri nets are a modeling technique of graphical and mathematical form, with a great variety of extensions that allow to represent the behavior of any type of system, no matter how complex it may be. The purpose of this paper is to present the different applications of Petri networks for supply chain management. The methodology used was a review of the articles published from 2010 to date. In order to present the different applications, a classification was made according to the decision making in the administration of the supply chain, at a strategic, tactical and operational level.

#### Keywords:

*Petri Nets, Supply Chain, Management Supply Chain*

---

#### Resumen:

La cadena de suministro es una red compleja integrada por proveedores, fabricantes, distribuidores y consumidores; debido a su naturaleza dinámica es difícil de modelar. Por otro lado, las redes de Petri son una técnica de modelado de forma gráfica y matemática, con una gran variedad de extensiones que permiten representar el comportamiento de cualquier tipo de sistema por complejo que éste sea. El propósito de este trabajo, es presentar las distintas aplicaciones de redes de Petri para la administración cadena de suministro. La metodología utilizada fue una revisión de los artículos publicados a partir del año 2010 a la fecha. Para presentar las diferentes aplicaciones se realizó una clasificación de acuerdo a la toma de decisiones en la administración de la cadena de suministro, a nivel estratégico, táctico y operacional.

#### Palabras Clave:

*Redes de Petri, cadena de suministro, administración de la cadena de suministro*

---

---

<sup>a</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, <https://orcid.org/0000-0002-3301-9790>, Email: [profe\\_7739@uaeh.edu.mx](mailto:profe_7739@uaeh.edu.mx)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Email: [arid\\_nic@hotmail.com](mailto:arid_nic@hotmail.com)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, <https://orcid.org/0000-0002-1015-667X>, Email: [rafaelgm@uaeh.edu.mx](mailto:rafaelgm@uaeh.edu.mx)

<sup>d</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, <https://orcid.org/0000-0003-2805-6674>, Email: [isidrojesus.gonzalez@upaep.edu.mx](mailto:isidrojesus.gonzalez@upaep.edu.mx)

<sup>e</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Ciudad Sahagún, Email: [isaiasm@uaeh.edu.mx](mailto:isaiasm@uaeh.edu.mx)

## Introducción

Una cadena de suministro (SC, por sus siglas en inglés) es una red de suministro dinámica que implica un flujo constante de información, productos y efectivo entre diferentes etapas. Asimismo, se puede definir como un sistema donde se combina una serie de procesos de negocio que permiten el reabastecimiento de materia prima, la obtención de un producto final a través de un valor agregado, la distribución de los productos al consumidor final y el intercambio de información entre todas las unidades de negocio participantes. De la misma manera, la SC puede entenderse como un esfuerzo involucrado en producir y enviar un producto final desde el proveedor del proveedor hasta el cliente del cliente. Donde se realizan cuatro procesos básicos: planeación, reabastecimiento, fabricación y envío. 1-3

Para que una SC pueda funcionar de la manera correcta se debe tener una administración adecuada de los recursos. Bajo esta perspectiva, surgen diferentes conceptos de administración de la cadena de suministro (SCM, por sus siglas en inglés). En este sentido, puede definirse como la coordinación de la producción, inventario, ubicación y transporte entre los participantes en una cadena de suministro para lograr la mejor combinación de capacidad de respuesta y eficiencia para el mercado que se atiende. Además, involucra la integración de procesos de negocio clave desde el usuario final a través de proveedores primarios que proporcionan productos, servicios e información que agrega valor para los clientes y otras partes interesadas. 2, 3

Por otro lado, la SCM también puede entenderse como la disposición, planificación, control y realización del flujo de producto desde el diseño y la compra, pasando por la producción y la distribución, hasta el consumidor final de acuerdo con los requisitos del mercado para la rentabilidad. Además, también puede definirse como la planeación integrada y para llevarla a cabo considera la integración funcional de actividades como compras, fabricación, transportación, almacenaje e inventario; una integración espacial a través de vendedores, instalaciones y mercados dispersos geográficamente; así como la integración intertemporal (también llamada planificación jerárquica) de las actividades sobre horizontes de planificación estratégica, táctica y operativa. 4, 5

Existen diversas herramientas para el modelado de la SC, sin embargo, debido a su naturaleza dinámica y a la complejidad de sus procesos de negocio, dificulta el proceso de modelado y análisis. En este sentido, las redes de Petri (PN, por sus siglas en inglés) resultan ser una herramienta poderosa para la representación de los

procesos de negocio de la SC. Las PN permiten modelar un sistema de manera gráfica y matemática; además, existen diversas extensiones que permiten representar y analizar el comportamiento de diferentes tipos de sistemas por complejos que éstos sean. Han sido usadas de manera exitosa para estudiar sistemas de manufactura, sistema de comunicación, sistema de control industrial, análisis workflow, sólo por mencionar algunos. Algunas de las extensiones son: redes de Petri coloreadas, redes de Petri estocásticas, redes de Petri híbridas, redes de Petri jerárquicas, redes de Petri modulares, redes de Petri difusas, entre otras. 6

## Aplicaciones de las redes de Petri para la administración de la cadena de suministro

Las PN se han usado para el análisis del desempeño y la optimización de la SC; así como para el modelado de procesos complejos, como son procesos logísticos. Por otro lado, las PN también han sido usadas para modelar procesos de SCM, en diferentes niveles, estratégico, táctico y operacional. A nivel estratégico, se ha usado para la toma de decisiones de diseño de la SC (evaluación de diseños alternativos, análisis de desempeño para los modelos de SC) y evaluación de ventaja competitiva (comparación de políticas de fabricación para stock en la SC). En la toma de decisiones a nivel táctico, para el análisis de una SC con enfoque orientado a proceso; programación de producción y administración de inventarios; para la toma de decisiones en logística y transporte (política de programación de sistemas logísticos complejos y modelo del sistema de transporte en una línea de producción). Asimismo, para la toma de decisiones a nivel operacional se han usado las PN para administración de inventario, planeación de la producción, información compartida y administración del riesgo. 7

Por otro lado, debido a que las SC son sistemas complejos que requieren enfoques de modelado jerárquico y modular que permita modelar la complejidad de los sistemas, las PN son una herramienta útil para manejar dicha complejidad. Además, éstas permiten realizar dos tipos de análisis: estructural y matemático. En este sentido, las PN pueden utilizarse como una herramienta para la toma de decisiones para dos tipos de problemas de optimización: estructural y de parámetros. Los modelos estructurales se refieren a la especificación de procesos de negocio y modelado de workflow. Donde workflow se refiere a aspectos operacionales de un procedimiento de trabajo o tarea, estos modelos pueden construirse a través de las PN ya que éstas permiten modelar datos, tiempo y jerarquía. Por otro lado, los modelos de desempeño permiten estudiar el comportamiento dinámico de la SC y evaluar sus diseños alternativos. Otros ejemplos son:

modelos para sistemas de inventarios, modelos para sistemas de transporte, modelos para administración del cliente y/o proveedor. 8

### **Toma de decisiones a nivel estratégico**

Para la toma de decisiones a nivel estratégico, como es el diseño de la SC, se han propuesto algunas metodologías como son: Modelado y análisis de la planeación de procesos integrados y configuración de la SC para productos de ensamble; modelado del diseño y administración de interrupciones de la cadena de suministro considerando los sistemas productivos y puntos de vista del transportista; modelado del proceso de compras verdes en la SC. Además, con respecto a la evaluación de la ventaja competitiva, se ha propuesto un modelo de simulación de la robustez de las instalaciones de la SC agrícola considerando la incertidumbre en el ambiente con diferentes escenarios. 9-13

### **Toma de decisiones a nivel táctico**

La toma de decisiones a nivel táctico se puede clasificar como: desarrollo de relaciones, operaciones integradas, logística y transporte, y coordinación. Existen diversos trabajos donde se proponen diferentes aplicaciones de las PN para este tipo de decisiones. Algunos de estos trabajos son: Desarrollo de un marco de referencia utilizando metodologías como ley de la variedad requerida de Ashby, PN y el doble ciclo de aprendizaje organizacional de espejo para la alineación de incentivos en SC colaborativas; modelado de experimentos basados en simulación de PN considerando los tipos de respuestas de los clientes ante el desabastecimiento, el efecto látigo, el inventario disponible y nivel de reserva para mitigar las interrupciones de la cadena de suministro; modelo de simulación de PN estocásticas desarrollado en PetriToole para el diseño de un plan de administración de materiales más confiable y óptimo para los proyectos de construcción; enfoque de modelado de un sistema de distribución Last Mile basado en PN coloreadas; y propuesta de un marco de referencia para un sistema de trazabilidad basado en PN ordinarias. 14-25

### **Toma de decisiones a nivel operacional**

Con respecto a la toma de decisiones a nivel operacional, pueden agruparse en: planeación, programación y control de la producción, administración de inventarios, y compartimiento, coordinación y monitoreo de información. En este sentido, algunos trabajos propuestos de aplicaciones basadas en PN son: Enfoque basado en PN para estudiar el comportamiento dinámico de un sistema bajo diferentes condiciones de trabajo, considerando las tasas de falla y reparación; método basado en el gráfico de alcanzabilidad de PN generalizadas para disminuir y prevenir los puntos muertos en un sistema G (FMS); modelado de un sistema de manufactura con puntos muertos utilizando el árbol de alcanzabilidad de PN generalizadas estocásticas y cadenas de Markov; modelado en tiempo real utilizando Identificación de radiofrecuencia y PN jerárquicas coloreadas temporizadas considerando los datos difusos para mejorar la planificación de las operaciones; sistema híbrido basado en PN temporizadas híbridas GHENeSys para modelar sistemas de automatización desde las especificaciones de control a un programa PLC en la fabricación de bloques de construcción; controlador robusto de prevención de interbloqueos para un sistema de fabricación automatizado con múltiples recursos no confiables basado en PN para garantizar la producción continua; modelado y simulación de la programación de un sistema de manufactura flexible basados en PN coloreadas para determinar el tiempo de utilización de la grúa apiladora en las diferentes etapas del sistema; simulación de sistemas de manufactura en diferentes escenarios comparando las tasas de reparación, fracaso, proceso y configuración de cada uno a través de sistemas de eventos discretos y PN estocásticas; enfoque basado en PN estocásticas para evaluar los indicadores ambientales y comerciales de las SC verdes utilizando redes de recompensa estocásticas como técnica de modelado; modelado y simulación basados en PN híbridas de primer orden, para describir los flujos de información, financiero y material de la cadena de suministro a nivel operacional; y modelado, evaluación y análisis del rendimiento de los sistemas de gestión de inventario basados en lotes deterministas, PN estocásticas y modelo SCOR. 26-41

### **Conclusiones**

Las redes de Petri están atrayendo la atención a varios investigadores para su aplicación en el estudio de la administración de la cadena de suministro. Debido a que es una técnica de modelado muy poderosa para representar la complejidad de sistemas dinámicos de eventos discretos. Existen diversas aplicaciones en la toma de decisiones a nivel estratégico, táctico y

operacional. Las redes de Petri extendidas permiten modelar las diferentes características de los modelos de negocio de la cadena de suministro. Además, las redes de Petri pueden combinarse con otras metodologías o herramientas para estudios más robustos de la administración de la cadena de suministro. La mayoría de las aplicaciones se encuentra en la toma de decisiones a nivel operativo, puesto que las PN son muy utilizadas para el estudio de sistemas de manufactura.

## Referencias

- [1] Chopra S, Meindl P. Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación. 5 ta ed. México: PEARSON; 2013.
- [2] Lambert D M, Cooper M C. Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*. 2000; 29: 65-83.
- [3] Lummus R, Vokurka R. Defining Supply Chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*. 1999; 99(1): 11-17.
- [4] Boiko A, Shendryk V, Boiko O. Information systems for supply chain management: uncertainties, risks and cyber security. *Procedia Computer Science*. 2019; 149: 65-70.
- [5] Shapiro J. Modeling the Supply Chain. 2 nd ed. USA: Cengage Learning; 2009.
- [6] Santana-Robles F, Medina-Marín j, Montaña-Arango O, Seck-Tuoh-Mora J C. Modeling and Simulation of Textile Supply Chain through Colored Petri Nets. *Intelligent Information Management*. 2012; (4): 261-268.
- [7] Van der Aalst W M P. Putting High-level Petri Nets to Work in Industry. *Computers in Industry*. 1994; (25): 45-54.
- [8] Chen H, Labadi K, Amodeo L. Modeling, Analysis and Optimization of Logistics Systems Petri Net based Approaches. *Service Systems and Service Management, International Conference*. 2006.
- [9] John F, Prasad P S. Supply chain conflict detection with coloured petri nets. *Journal of Advances in Management Research*. 2012; 9(2): 208–216.
- [10] Gusikhin O, Klampf E. Integrated Process Planning and Supply Chain Configuration for Commodity Assemblies Using Petri Nets. In J. Lilius & W. Penczek (Eds.), *Applications and Theory of Petri Nets*. 31 st ed. Braga, 2010.
- [11] Fontoura M, Marinho R, Wee H. A framework for designing supply chain disruptions management considering productive systems and carrier viewpoints. *International Journal of Production Research*. 2018; 56(15): 5045–5061.
- [12] Guevara-Ortega L M, Rodríguez-Urrego L. Model the green procurement based coloured Petri nets. *Revista DYNA*. 2017; 84(203): 177–183.
- [13] Chen W C, Li J, Wen D P. Investigating the robustness of the agricultural supply chain based on colored Petri nets. *Simulation*. 2015; 91(10): 898–915.
- [14] Puche-Regaliza J C, Ponte B, Costas-Gual J, Pino-Diez R, de la Fuente-García D. An Organizational Cybernetics Framework for Aligning Incentives in Collaborative Supply Chains. *Dirección y Organización*. 2017; (63): 50–56.
- [15] Wang J W, Ip W H, Muddada R R, Huang J L, Zhang, W J. On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks. *Int J Manuf Technol*. 2013.
- [16] Zhang X. A petri net based simulation to study the impact of customer response to stock-out on supply chain performance. *Cogent Engineering*. 2016; 3(1): 1–16.
- [17] Aized T, Srari J S. Hierarchical modelling of Last Mile logistic distribution system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014; 70(5–8): 1053–1061
- [18] Gg S T, Fang Y, Ugwu O O. Modelling construction material logistics system with stochastic Petri nets. *Construction Innovation*, 2008; 1: 46–60.
- [19] Yan C, Huanhuan F, Ablikim B, Zheng G, Xiaoshuan Z, Jun L. (2018). Traceability information modeling and system implementation in Chinese domestic sheep meat supply chains. *Journal of Food Process Engineering*. 2018; 41(7): 1–12
- [20] K Wang, J. W., Ip, W. H., Muddada, R. R., Huang, J. L., & Zhang, W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks.
- [21] K Wang, J. W., Ip, W. H., Muddada, R. R., Huang, J. L., & Zhang, W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks.
- [22] K Wang, J. W., Ip, W. H., Muddada, R. R., Huang, J. L., & Zhang, W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks.
- [23] K Wang, J. W., Ip, W. H., Muddada, R. R., Huang, J. L., & Zhang, W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks.
- [24] K Wang, J. W., Ip, W. H., Muddada, R. R., Huang, J. L., & Zhang, W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks.
- [25] K Wang, J. W., Ip, W. H., Muddada, R. R., Huang, J. L., & Zhang, W. J. (2013). On Petri net implementation of proactive resilient holistic supply chain networks.
- [26] Bahl A, Sachdeva A, Garg R. Availability analysis of distillery plant using Petri nets. *International Journal of Quality & Reliability Management*. 2017; 40(3): 352–367.
- [27] Hou Y, Uzam M, Zhao M, Li Z. On near-optimal Deadlock control for a class of generalized Petri nets using reachability graph. *Engineering Computations (Swansea, Wales)*. 2017; 34(6): 1896–1922.
- [28] Patel A M, Joshi A Y. Modeling and analysis of a manufacturing system with deadlocks to generate the reachability tree using petri net system. *Procedia Engineering*. 2013; 64: 775–784.
- [29] Shen V R L, Yang C Y, Shen R K, Chen Y C. Application of Petri nets to deadlock avoidance in iPad-like manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2018; 29(6): 1363–1378.
- [30] Lv Y, Lin D. Design an intelligent real-time operation planning system in distributed manufacturing network. *Industrial Management and Data Systems*. 2017; 117(4): 742–753.
- [31] Benítez-Pina I, Lamar-Carbonell S, Marinho R, Eigi-Miyagi P, Silva J R. Design of automatic control system based on unified timed hybrid Petri net. *Dyna*. 2017; 84(200): 80–89.
- [32] Luo J C, Liu Z Q, Zhou M C, Xing K Y, Wang X N, Li X L, Liu H X. Robust deadlock control of automated manufacturing systems with multiple unreliable resources. *Information Sciences*. 2019; 479: 401–415.

- [33] Setiawan A, Sitepu T E N. Scheduling Flexible Manufacturing System with Stacker Crane Using Coloured Petri Nets. *Jurnal Teknik Industri*. 2019; 20(2): 1-13.
- [34] Simon E, Oyekan J, Hutabarat W, Tiwari A, Turner C J. Adapting petri nets to des: Stochastic modelling of manufacturing systems. *International Journal of Simulation Modelling*. 2018; 17(1): 5–17.
- [35] De Albuquerque G A, Maciel P, Lima R M F, Magnani F. Strategic and tactical evaluation of conflicting environment and business goals in green supply chains. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, 2013; 43(5): 1013–1027.
- [36] Dotoli M, Fanti M P, Iacobellis G, Mangini A M. A first-order hybrid petri net model for supply chain management. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2009; 6(4): 744–758.
- [37] Fattah J, Ezzine L, Moussami H, Lachhab A. Analysis of the performance of inventory management systems using the SCOR model and Batch Deterministic and Stochastic Petri Nets. *International Journal of Engineering Business Management*. 2016; 8: 1–11.
- [38] Liu J P, Wu R. A Petri net-based supply chain system. *International Journal of Online Engineering*. 2018; 14(11): 28–39.
- [39] Bharathi S V, Pramod D, Ramakrishnan R (2017). Risks Assessment using Fuzzy Petri Nets for ERP Extension in Small and Medium Enterprises. *Information Resources Management Journal*. 2017; 30(4): 1–23.
- [40] Blackhurst J, Rungtusanatham M J, Scheibe K, Ambulkar S. Supply chain vulnerability assessment: A network based visualization and clustering analysis approach. *Journal of Purchasing and Supply Management*. 2018; 24(1): 21–30.
- [41] Liu L, Liu X, Liu G. The risk management of perishable supply chain based on coloured Petri Net modeling. *Information Processing in Agriculture*. 2018; 5(1): 47–59.